

멀티웨이브릿 변환 영역에서 JND 특성을 이용한 적응 워터마크 은닉 기술

강균호*, 장봉주*, 조영웅*, 권성근**, 문광석***, 권기룡*

*부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부, **경북대학교 전자전기컴퓨터공학부,
***부경대학교 전자정보통신공학부

Adaptive Image Watermark Embedding Using JND Characteristic within Multiwavelet Transform

Kyun-Ho Kang*, Bong-Ju Chang*, Young-Ung Jo*, Seong-Geun Kwon**,
Kwang-Suk Moon***, Ki-Ryong Kwon*

*Division of Computer and Electronic Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

**School of Electronic Eng. and Computer Science Kyungpook Nat'l Univ.

***Division of Electronic and Telecommunication Eng., Pukyong Nat'l Univ.

요 약

본 논문에서는 화질의 열화를 최소화함과 동시에 강인한 워터마크의 은닉을 위하여 멀티웨이브릿 변환영역에서 인간 시각 특성(human visual system: HVS)을 고려한 적응 워터마크 은닉 기술을 제안한다. 멀티웨이브릿은 영상을 완전 복원시키는데 탁월한 효과가 있으며 경계영역에서 우수한 성능을 갖는다. 본 논문에서 사용한 멀티웨이브릿 함수는 근사화 차수가 2인 DHGM 멀티웨이브릿을 사용한다. 워터마크는 멀티웨이브릿 분해된 부대역들 중 저주파 영역을 제외한 중간 및 고주파 영역의 웨이브릿 계수 중에 HVS를 이용하여 얻은 문턱값에 의해 선택된 웨이브릿 계수들에만 은닉한다. 워터마크를 은닉하기 위한 지각모델은 영상 압축시 지각적 양자화기에 사용되는 정적 JND(just noticeable difference) 모델을 이용한다. 제안한 은닉모델은 영상의 특성에 따라 은닉하는 워터마크의 수가 각각 달라졌다. 또한, 여러 실험결과 우수한 비가시성과 강인성을 확인하였다.

1. 서론

정보 통신 기술의 발달에 힘입어 디지털화된 콘텐츠의 보급이 컴퓨터 네트워크 망 등을 통하여 이루어졌다. 디지털 콘텐츠는 다양한 이점을 제공해 주지만, 디지털 데이터의 특성상 원본과 동일한 대량의 복사본이 불법적으로 복제 및 조작될 수 있다는 저작권 보호에 대한 위협을 초래했다. 따라서 저작권에 대한 보호 및 인증(authentication)에 대한 방법으로 디지털

워터마킹(digital watermarking)이라는 기술이 대두되었다. 워터마킹은 콘텐츠에 저작자임을 주장할 수 있는 메시지인 워터마크를 삽입하여 저작권에 대한 문제가 발생할 경우 이미 삽입되었던 메시지를 추출하여 저작권을 주장한다. 워터마크는 콘텐츠에 삽입되었을 때 인간의 지각 시스템이 인지할 수 없는 어떤 의미 있는 구조와 값으로 이루어진다[1].

데이터 은닉 시스템의 중요한 요구조건은 강인성과 비가시성이다. 즉, 강인성은 디지털 콘텐츠의 배포 중

에 발생할 수 있는 손실압축, 필터링, 노이즈 부가, 기하학적 변환 등의 여러 가지 공격에 대하여 워터마크가 남아있어 추출이 가능해야한다. 그리고, 비가시성은 워터마크의 삽입으로 인하여 원래 콘텐츠의 품질 열화를 초래해서는 안 되고, 다시 말해 사용자는 콘텐츠에 워터마크의 삽입여부를 알 수 없어야 한다.

Watson 등[2]은 웨이브릿기반 영상 압축에 지각적 양자화와 지각적 비트 할당을 위한 주파수 감응(frequency sensitivity) 문턱값을 제안했다. 이는 9/7 쌍직교 필터[3]를 사용해 4레벨로 계층적으로 분해된 웨이브릿계수들에서 얻었다. Podilchuk 등[4]은 영상을 DWT(discrete wavelet transform)를 이용하여 다해상도 영상으로 변환한 후 각 부대역의 정적 JND에 의해 삽입 계수들을 결정한다. 그리고 그 정적 JND를 삽입강도로 해서 워터마크를 삽입한다. Dugad 등[5]은 DWT를 이용하여 영상을 분해한 후 저주파에 해당하는 대역을 제외한 부대역에 임의의 문턱값과 비교하여 보다 큰 계수들에 이 계수들의 절대값에 비례하는 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 동일한 삽입강도로 워터마크를 삽입하므로 영상의 열화를 초래한다. 이산멀티웨이브릿(discrete multiwavelet transform: DMWT)은 기존의 단일 스케일링 및 웨이브릿 함수[3]를 가지는 단점을 보완하기 위해 여러 개의 스케일링 및 웨이브릿 함수를 이용한 다해상도 분석을 정의하고 이에 따르는 멀티 스케일링 및 웨이브릿 함수를 구성하여 멀티웨이브릿 필터뱅크를 개발하기 위해 연구되고 있다[6][7].

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 인간 시각 시스템을 이용한 정적 JND모형을 이용하여 삽입되는 계수들을 결정하고 정적 JND모형의 주파수 감응으로 삽입강도를 결정하는 적응적 워터마크 은닉 기술을 제안한다. 이 모델은 영상에 종속적인 마스크 특성을 얻는 기초가 되고, 영상이 계층적으로 분해되므로 전체와 국부적인 영역에 워터마크를 삽입할 수 있는 이점이 있어, 손실압축과 기하학적 변환에 더 잘 견딜 수 있게 한다. 워터마크는 중간 및 고주파 영역만 선택적으로 삽입되고 각 부대역에 대한 삽입 강도를 다르게 적용시켜 DWT변환 영역의 적응 모델과 비교한다. 실험 결과 비가시성 및 강인성이 우수함을

확인하였다.

II. 적응 워터마크 은닉 기술

1. 멀티웨이브릿 변환

멀티웨이브릿은 여러 개의 스케일링 함수를 갖는 여러 개의 웨이브릿 함수로 구성되어 있다. 따라서 길이를 보존하며, 경계영역에서 좋은 성능을 가지며, 고차수의 근사화를 가져서 완전복원을 한다. 멀티웨이브릿의 필터뱅크는 그림 1과 같다.

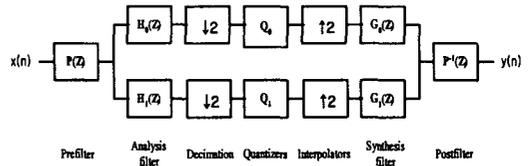


그림 1. 멀티웨이브릿의 필터뱅크

$H_0(Z)$, $G_0(Z)$ 는 저역 통과 필터이고, $H_1(Z)$, $G_1(Z)$ 는 고역 통과 필터에 해당한다. 또한 $P(z)$ 는 전처리 필터이고, $P^{-1}(z)$ 는 후처리 필터이며, Q 는 양자화기이다. 멀티스케일링 함수는 벡터함수

$\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$ 이며, $L^2(R)^n$, $n \in N$ 에 속해 있다. 이는 스케일링 공간

$$V_m = \text{span}[2^{m/2} \phi_i(2^m t - k) : 1 \leq i \leq n, k \in Z] \quad (1)$$

으로서 다해상도 이론으로 구성된다. 멀티웨이브릿 W_m 은 스케일링 공간 V_{m+1} 내에서 V_m 과 직교 보수 공간이다. 이의 벡터함수는 $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n]^T$ 이며,

$$W_m = \text{span}[2^{m/2} \psi_i(2^m t - k) : 1 \leq i \leq n, k \in Z] \quad (2)$$

으로 구성된다.

벡터 $\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$ 는 다음과 같은 matrix dilation 방정식을 만족한다.

$$\phi(t) = \sum_k C[k] \phi(2t - k). \quad (3)$$

여기서 계수 $C[k]$ 는 스칼라 대신 $N \times N$ 행렬이다. 이 스케일링 함수는 N 웨이브릿 $\phi_1(t), \dots, \phi_n(t)$ 와 관련되며 다음과 같은 matrix wavelet 방정식을 만족한다.

$$\phi(t) = \sum_k D[k] \phi(2t - k). \quad (4)$$

여기서 $\phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]^T$ 는 벡터이고, 계수 $D[k]$ 는 $N \times N$ 행렬이다.

차수(order) n 의 초기 정방행렬 C_0 로부터 시작하여 공간 V_0 상에 2-D 멀티스케일링 계수가 들어가며 멀티웨이브릿 분할이 L 레벨까지 진행된다. 멀티웨이브릿 분할 알고리즘은 블록 멀티웨이브릿 계수 행렬 C_0 로부터 시작한다. 영상처리에 멀티웨이브릿을 적용하기 위한 가장 중요한 문제는 좋은 근사화 차수를 갖는 행렬 C_0 를 구하는 것이다. 이러한 문제는 데이터의 전처리 과정 또는 전처리 필터로서 알 수 있다. 따라서 전처리 필터는 멀티스케일링 함수의 근사화 차수를 보존하는 인터플레이션 전처리필터를 선택한다.

본 논문에서 사용한 DGHM 멀티웨이브릿은 직교성과 근사화 차수의 두 가지 중요한 특성이 있다. 스케일링 공간 V_0 에서 이산 신호와 일치하기 위하여 전처리 필터링 단계가 필요하다. DGHM 멀티웨이브릿의 인터플레이팅 특성을 기초로 한 후처리 필터의 구조는 근사화 차수가 2를 갖는다,

단일 웨이브릿에 있어서는 전처리 및 후처리가 필요하지 않으나 멀티웨이브릿에서는 이 과정을 필요로 한다. 따라서 스케일링과 웨이브릿 필터를 구하고 난 뒤 이 함수들에 알맞은 전처리 과정을 설계해야 한다. 또한 후처리 과정은 전처리 과정의 역을 계산함으로써 얻는다.

저역통과 필터와 고역통과 필터는 신축 방정식과 웨이브릿 방정식에서 얻어지는 계수들로 구성된다. 그러나 멀티웨이브릿에서는 이 계수들이 $n \times n$ 행렬로 나타난다. 그리고 컨벌루션을 하는 동안에 스칼라대신 행렬 곱으로 계산된다. 이것은 멀티필터뱅크가 n 입력행을 필요로 한다는 것을 의미한다.

2. 워터마크 삽입

제안한 삽입방법을 위해 먼저 영상을 멀티웨이브릿

4레벨로 분해한다. 다음으로 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 화질의 열화와 기하학적 공격을 고려하여 제외하고, 고주파 부대역들에 대해서만 정적 JND모델을 사용해서 각 부대역에 대한 문턱값을 결정한다[2]. 설정된 문턱값에 의해 워터마크가 삽입된 웨이브릿 계수는

$$X_{u,v,l,f}^* = \begin{cases} X_{u,v,l,f} + t_{l,f}^F w_{u,v,l,f}, & \text{if } X_{u,v,l,f} > t_{l,f}^F \\ X_{u,v,l,f} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

이다. 여기서 $X_{u,v,l,f}$ 는 $l=1,2,3,4$ 레벨과 $f=1,2,3$ 의 방향성을 갖는 (l,f) 부대역내의 멀티웨이브릿 계수들이고, $w_{u,v,l,f}$ 는 i.i.d Gaussian Random 분포를 가지는 임의의 Sequence이다. $t_{l,f}^F$ 는 삽입되는 각 부대역에 해당하는 주파수 감응으로, 문턱값에 해당한다. 또한, 이 문턱값은 각 부대역에 대한 워터마크의 삽입 강도로 사용한다. 워터마크가 삽입된 계수들을 역 멀티웨이브릿 변환을 하여 워터마크가 삽입된 영상을 얻는다. 그림 2(b)는 Lena와 Barbara영상에서의 삽입을 위해 선택된 계수들을 나타내고, 제안한 적용 워터마크 은닉 모델은 그림 3과 같다.



(a) 원 영상 (b) 정적 JND에 의해 선택된 멀티웨이브릿 계수들

그림 2. 제안한 방법의 워터마크 삽입영역

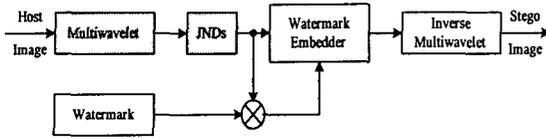


그림 3. 제안한 삽입 모델

제안한 방법으로 각각 다른 종류의 영상에 워터마크를 삽입할 경우 영상의 서로 다른 시각적 특성 때문에 삽입에 사용되는 워터마크의 수도 달라지게 설계한다.

3. 워터마크 추출

워터마크를 추출하는 방법은 이전에 연구된 방법 [1],[3]을 사용한다. 워터마크가 삽입된 위치를 찾기 위해 원 영상을 멀티웨이브릿 분해한 후 삽입에 사용되었던 문턱값으로 삽입 위치를 찾은 후, 찾아진 위치에 대해 다음 식에서와 같이 워터마크를 추출한다.

$$w^*_{s,u,v,l,f} = X_{u,v,l,f} - \hat{X}_{u,v,l,f} \quad (6)$$

$$w^*_{u,v,l,f} = \frac{w^*_{s,u,v,l,f}}{t^F_{l,f}} \quad (6)$$

$$\rho_{ww}^* = \frac{w^*_{l,f} \cdot w_{l,f}}{\sqrt{w_{l,f} \cdot w_{l,f}}} \cdot \rho_{ww}^* \left[\begin{array}{l} > T_p : \text{detected} \\ < T_p : \text{not detected} \end{array} \right] \quad (7)$$

여기서, $w^*_{s,u,v,l,f}$ 는 원 영상에 해당하는 멀티웨이브릿 계수와 워터마크를 검출하고자 하는 영상의 멀티웨이브릿 계수의 차이이다. 이 값들과 삽입 강도로 사용했던 주파수 감응을 나눈 값이 추출한 워터마크 ($w^*_{u,v,l,f}$)가 된다. 다음으로 추출한 워터마크와 원래의 워터마크와의 유사도(ρ_{ww}^*)를 구한다. 본 논문에서는 멀티웨이브릿 기반에서와 DWT기반에서의 강인성 비교의 척도로 사용한다.

III. 실험결과 및 고찰

제안한 멀티웨이브릿 영역에서 적응 워터마크 삽입 방법과 DWT기반에서의 적응 워터마크 삽입의 비교

를 위해 512×512 크기의 여러 영상에 대하여 비가시성과 강인성 실험을 하였다. 비가시성의 척도로 PSNR(peak signal to noise ratio)을 사용하고, 강인성의 척도로 유사도(correlation response)를 사용한다. 워터마크는 정적 JND모델에 의한 주파수 감응 문턱값에 따라 그 개수가 영상의 특성에 따라 변한다. 레나 영상의 경우, DWT기반의 경우는 7,973개의 워터마크가 삽입되었고, 멀티웨이브릿 기반에서는 8,311개의 워터마크가 삽입되었다.

그림 4에서 식 (7)에 의해 구해진 유사도를 나타내는데, (a)는 삽입 후 바로 검출된 워터마크와 원래의 워터마크와의 유사도를, (b)는 워터마크가 삽입된 영상에 Sharpening Attack을 가한 후의 유사도를 보였고, (c)는 3×3 Median Filtering 후의 유사도를 보였다. 그리고, 최초 획득된 영상은 용량을 줄이기 위해 JPEG에 근거한 압축이 되기 마련이므로 JPEG 압축률에 따른 PSNR(그림 5)과 유사도(그림 6)를 제안한 방법과 기존의 DWT기반 적응 은닉모델과 비교하였다. 그 결과 JPEG 압축에 대한 워터마크 구조는 멀티웨이브릿 변환 기반에서의 적응 모델이 더 강인함을 알 수 있었다. 또한 그림 7과 그림 8은 JPEG Q-factor 80%로 압축된 워터마크가 삽입된 영상을 10%~90%까지 제거 후 다시 원 영상의 같은 위치에 대치하여 PSNR과 유사도를 측정된 것으로서 비가시성 면에서는 멀티웨이브릿기반 방법이 더 좋은 특성을 보인 반면, 강인성에서는 DWT기반 방법이 더 높은 유사도를 보였다. 그림 9에서는 Stirmark benchmark에 대해 영상의 열화가 없음을 보였다.

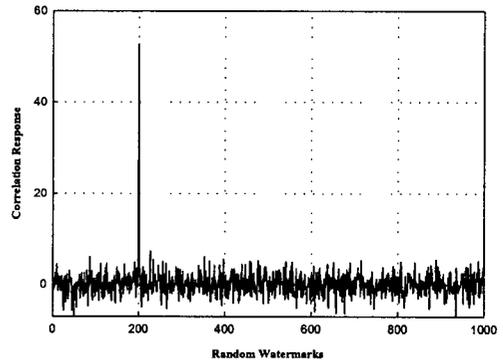
IV. 결론

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 정적 JND 모델에 의해 워터마크 삽입 위치를 결정하고 삽입 강도를 부대역의 특징에 맞게 하는 적응 워터마크 은닉 기술을 제안하였다. 멀티웨이브릿 변환된 영역은 계층적 구조의 부대역으로 분해되므로 영상의 국부적 특성과 전체

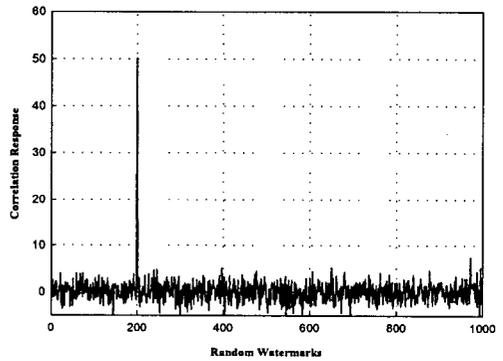
적 특성에 적용시킬 수 있었다. 실험결과 제안한 멀티웨이브릿 기반의 방법이 DWT기반에서의 적용 워터마킹 방법에 비해 비가시성에서 더 우수함을 확인하였다.

[참고문헌]

- [1] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, and T. shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673~1687, Dec. 1997.
- [2] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for wavelet quantization error," *Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging*, 1996, vol.2657, pp.381-392.
- [3] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using the wavelet transform," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 1, pp. 205-220, 1992.
- [4] C. Podilchuk and W. Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 16, no. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [5] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja, "A new wavelet-based scheme for watermarking images," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. 2, pp. 419-423, 1998.
- [6] V. Strela, P. N. Heller, G. Strang, P. Topiwala, and C. Heil, "The Application of Multiwavelet Filterbank to Image Processing," *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 8, no. 4, pp. 548-563, April 1999.[6]
- [7] Douglas P. Hardin and David W. Roach, "Multiwavelet Prefilters I: Orthogonal Prefilters Preserving Approximation order $p \leq 2$," *IEEE Trans. On Circuits and Systems II*, vol. 45, pp. 1106-1112, Aug. 1998.

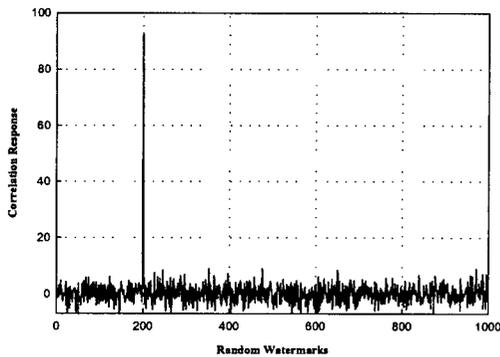


(b) Sharpening Attack(52.74)



(c) 3×3 Median Filtering(50.17)

그림 4. 유사도 실험



(a) No Attack(92.64)

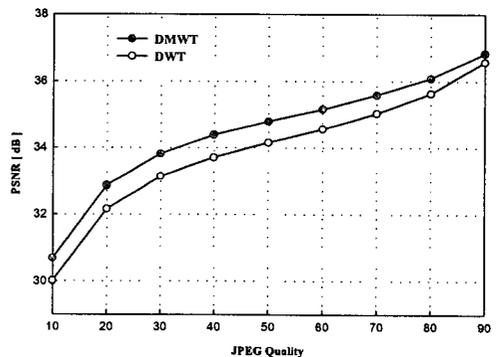


그림 5. JPEG의 Q-factor 변화에 따른 PSNR 비교

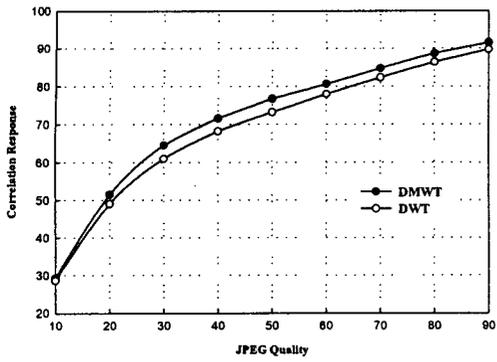


그림 6. JPEG의 Q-factor 변화에 따른 유사도 비교

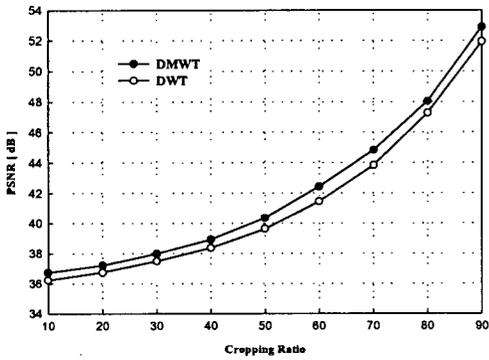


그림 7. JPEG압축률 80%에서의 Cropping을 변화에 따른 PSNR 비교



(a) 워터마크 삽입영상 (b) Stirmark Attack 영상

그림 9. Stirmark Benchmark test

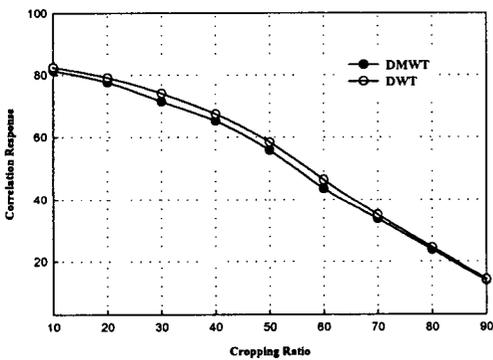


그림 8. JPEG압축률 80%에서의 Cropping을 변화에 따른 유사도 비교